

ACOUSTIC REPRODUCTION DEVICE

Patent Number: JP9327099
Publication date: 1997-12-16
Inventor(s): SAKUMA YASUO; INANAGA KIYOFUMI
Applicant(s):: SONY CORP
Requested Patent: ☐ JP9327099
Application Number: JP19960165158 19960606
Priority Number(s):
IPC Classification: H04S1/00
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the cost and to decrease the circuit scale.
SOLUTION: A couple of FIR filters (1R(1), 1L(1)) and (1R(2), 1L(2)) are provided to two acoustic signals for different virtual sound images S1, S2. Each of the FIR filters has a filter characteristic where a transfer function to cancel a crosstalk component reaching a right ear or a left ear of a listener is convoluted on a transfer function of a virtual sound image corresponding to an input signal to be reached to the right ear or the left ear of the listener. Then a 3-dimensional sound field space where two virtual sound images are localized at a prescribed position is realized by adding outputs of the FIR filters 1R(1) and 1R(2) and supplying the sum to a right speaker SP(R) and adding outputs of the FIR filters 1L(1) and 1L(2) and supplying the sum to a left speaker SP(L).

Data supplied from the esp@cenet database - I2

Best Available Copy

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-327099

(43) 公開日 平成9年(1997)12月16日

(51) Int.Cl.⁹

H 0 4 S 1/00

識別記号

序内整理番号

F I

H 0 4 S 1/00

技術表示箇所

K

D

L

審査請求 未請求 請求項の数8 F D (全 13 頁)

(21) 出願番号

特願平8-165158

(22) 出願日

平成8年(1996)6月6日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 佐久間 康夫

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 稲永 潔文

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

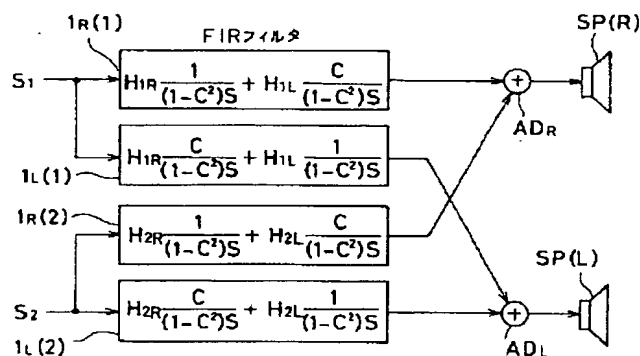
(74) 代理人 弁理士 脇 篤夫 (外1名)

(54) 【発明の名称】 音響再生装置

(57) 【要約】

【課題】 コストの削減、回路規模の縮小等。

【解決手段】 2つの異なる仮想音像のための音響信号 S_1 、 S_2 ごとに、一対のFIRフィルタ ($1_R(1)$ 、 $1_L(1)$) 及び ($1_R(2)$ 、 $1_L(2)$) を設ける。これらFIRフィルタの各々は、入力信号が対応する仮想音像が聴取者の右耳又は左耳に到達するとされる伝達関数に対して、聴取者の右耳又は左耳に到達するクロストーク成分をキャンセルするための伝達関数が畳み込まれたフィルタ特性を有する。そして、FIRフィルタ $1_R(1)$ 及び $1_R(2)$ の出力を加算して右スピーカ $SP(R)$ に供給し、FIRフィルタ $1_L(1)$ 及び $1_L(2)$ の出力を加算して左スピーカ $SP(L)$ に供給することで、2つの仮想音像が所定の位置に定位する三次元的音場空間を再現する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 1つの仮想音像の定位位置から受聴者の右耳に到達するとされる経路の伝達関数に対して、上記受聴者の右耳にクロストークして到達するとされる仮想音像のクロストーク成分についてキャンセルを行うように求められた伝達関数を畳み込むことにより得られる伝達関数をフィルタ特性として有する第 1 のデジタルフィルタ手段と、

上記 1つの仮想音像の定位位置から受聴者の左耳に到達するとされる経路の伝達関数に対して、上記受聴者の左耳にクロストークして到達するとされる仮想音像のクロストーク成分についてキャンセルを行うように求められた伝達関数を畳み込むことにより得られる伝達関数をフィルタ特性として有する第 2 のデジタルフィルタ手段と、
を備えて構成されていることを特徴とする音響再生装置。

【請求項 2】 上記第 1 のデジタルフィルタ手段及び上記第 2 のデジタルフィルタ手段の出力信号は、それぞれスピーカにより音声出力されることを特徴とする請求項 1 に記載の音響再生装置。

【請求項 3】 上記クロストーク成分についてキャンセルを行うように求められた伝達関数を無効とするように、上記第 1 のデジタルフィルタ手段及び上記第 2 のデジタルフィルタ手段のフィルタ係数を設定すると共に、上記第 1 のデジタルフィルタ手段及び上記第 2 のデジタルフィルタ手段の出力信号は、ヘッドフォンにより音声出力されることを特徴とする請求項 1 に記載の音響再生装置。

【請求項 4】 上記第 1 のデジタルフィルタ手段及び上記第 2 のデジタルフィルタ手段は、FIR フィルタであることを特徴とする請求項 1 に記載の音響再生装置。

【請求項 5】 1つの仮想音像の定位位置から受聴者の右耳に到達するとされる経路の伝達関数に対して、上記受聴者の右耳にクロストークして到達するとされる仮想音像のクロストーク成分についてキャンセルを行うように求められた伝達関数を畳み込むことにより得られる伝達関数をフィルタ特性として有する第 1 のデジタルフィルタ手段と、上記 1つの仮想音像の定位位置から受聴者の左耳に到達するとされる経路の伝達関数に対して、上記受聴者の左耳にクロストークして到達するとされる仮想音像のクロストーク成分についてキャンセルを行うように求められた伝達関数を畳み込むことにより得られる伝達関数をフィルタ特性として有する第 2 のデジタルフィルタ手段とによりなる組を、複数の仮想音像ごとに対応して設けると共に、
上記複数の仮想音像ごとに対応して設けられた第 1 のデジタルフィルタ手段の出力を加算して出力する第 1 の加算手段と、
上記複数の仮想音像ごとに対応して設けられた第 2 のデ

ジタルフィルタ手段の出力を加算して出力する第 2 の加算手段と、
を備えて構成されていることを特徴とする音響再生装置。

【請求項 6】 上記第 1 の加算手段と第 2 の加算手段の出力信号は、それぞれスピーカにより音声出力されることを特徴とする請求項 5 に記載の音響再生装置。

【請求項 7】 上記クロストーク成分についてキャンセルを行うように求められた伝達関数を無効とするように上記第 1 のデジタルフィルタ及び上記第 2 のデジタルフィルタ手段のフィルタ係数を設定すると共に、上記第 1 の加算手段と第 2 の加算手段の出力信号は、ヘッドフォンにより音声出力されることを特徴とする請求項 5 に記載の音響再生装置。

【請求項 8】 上記第 1 のデジタルフィルタ手段及び上記第 2 のデジタルフィルタ手段は、FIR フィルタであることを特徴とする請求項 5 に記載の音響再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は音響再生装置に関わり、例えば三次元的音響空間を再現する音響再生装置に適用して好適なものとされる。

【0002】

【従来の技術】従来より、音響再生システムとして、ステレオ音声を左右一対のスピーカにより出力して聴取したり、ヘッドフォン等を利用して聴取するものが広く知られている。ところで、上記のような通常のステレオ音声を再生するような音響再生システムとして、例えばヘッドフォンを用いた場合には、再生される音像は受聴者の頭の中に定位するようにして聞こえる、いわゆる頭内定位といわれるものとなる。つまり、現実には聞こえるような三次元的な立体音像は得ることができない。また、左右一対のスピーカによってステレオ音声を再生する場合は、上記ヘッドフォンを用いた再生の場合に比較すれば、空間的な音場の広がりを得ることができる。しかし、再生される音像は基本的にはあくまでも左右のスピーカの間の空間のみに定位する二次元的なものであって、三次元的な音像定位は得られない。

【0003】そこで、三次元的な音響空間を再現することのできる技術の 1 つとして、バイノーラル方式が知られている。例えば、このバイノーラル方式においては、例えばダミーヘッドの両耳に設けられた左右一対のマイククロフォンにより音源の收音を行う。そして、ヘッドフォンを用いて再生する場合には、上記收音された音源の音響信号をヘッドフォンに供給するようにすれば、音源收音時と同様の三次元的な音像定位を再現することができる。

【0004】あるいは、上記のようにダミーヘッドを用いた收音を行う代わりに、一般のステレオ音響信号に対して、所要の音源が三次元的に定位するように設定され

た再生音場の特性を畳み込むことにより、バイノーラル方式により上述のようにダミーヘッドで収録したのと同様の音響信号が得られる。そして、この音響信号をヘッドフォンによって再生することによっても三次元的な仮想の音像定位を得ることができ、バイノーラル方式による再生音源と同様の聴感が得られることになる。このような仮想音像を得るための信号処理回路としては、例えばデジタルフィルタにより構成することができる。

【0005】これに対して、バイノーラル方式に基づく音響信号を左右一対のスピーカにより適正に再生するためには、再生出力された音源の音が左右のスピーカから受聴者の耳に届くまでのクロストーク成分を考慮しなければならない。つまり、ヘッドフォンで再生音声を聞く場合と異なり、スピーカにより再生音声を聞く場合には、右チャンネルのスピーカから受聴者の左耳に届く再生音声の成分と、左チャンネルのスピーカから受聴者の右耳に届く再生音声の成分が無視できない程度に必ず存在する。このため、スピーカを用いた再生により三次元的な音場を適正に得るためには、例えば、左右の各チャンネルの音響信号からクロストーク成分を除去し、これにより、あたかも受聴者に対してはクロストークの無い音声が左右の各スピーカから届いているように聞かせることが必要である。そして、近年においては、受聴者の左右の耳に到達する音声が、本来のスピーカへの入力信号と同等の特性となるように音響信号について処理を施すように構成された、いわゆるクロストークキャンセルフィルタも提案されている。このようなクロストークキャンセルフィルタもまた、デジタルフィルタにより構成することができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述した三次元的定位を有する仮想音像を得るために音響信号に三次元の音場特性を畳み込むためのデジタルフィルタや、上記クロストークキャンセルフィルタを構成するためのデジタルフィルタは、ハードウェアとしては回路規模も大きく高価である。そこで、これらデジタルフィルタの数を削減するなどして、音響再生装置としての回路規模の縮小やコストの抑制を図ることが好ましい。また、音響信号に三次元的音場特性を畳み込むためのデジタルフィルタを用いることにより三次元的音場再生を実現する音響再生システムを考えた場合、従来においては、ヘッドフォンを用いる場合とスピーカを用いる場合とで、音響再生装置を形成するためのデジタルフィルタの構成が異なる。このため、共通のハードウェアによって、ヘッドフォンを用いるシステムとスピーカを用いるシステムとの両者に対応することが困難であった。

【0007】

【課題を解決するための手段】そこで本発明は上記した課題を解決するため、1つの仮想音像の定位位置から受聴者の右耳に到達するとされる経路の伝達関数に対し

て、上記受聴者の右耳にクロストークして到達するとされる仮想音像のクロストーク成分についてキャンセルを行うように求められた伝達関数を畳み込むことにより得られる伝達関数をフィルタ特性として有する第1のデジタルフィルタ手段と、上記1つの仮想音像の定位位置から受聴者の左耳に到達するとされる経路の伝達関数に対して、上記受聴者の左耳にクロストークして到達するとされる仮想音像のクロストーク成分についてキャンセルを行うように求められた伝達関数を畳み込むことにより得られる伝達関数をフィルタ特性として有する第2のデジタルフィルタ手段とを備えて音響再生装置を構成することとした。そして、上記第1のデジタルフィルタ手段及び第2のデジタルフィルタ手段の出力信号を、それぞれスピーカにより音声出力するように構成する、あるいは上記クロストーク成分についてキャンセルを行うように求められた伝達関数を無効とするように上記第1のデジタルフィルタ及び上記第2のデジタルフィルタ手段のフィルタ係数を設定すると共に、第1のデジタルフィルタ手段及び第2のデジタルフィルタ手段の出力信号をヘッドフォンにより音声出力するように構成することとした。

【0008】また、上記第1のデジタルフィルタ手段及び第2のデジタルフィルタ手段からなる組を複数の仮想音像ごとに対応して設けると共に、上記複数の仮想音像ごとに対応して設けられた第1のデジタルフィルタ手段の出力を加算して出力する第1の加算手段と、上記複数の仮想音像ごとに対応して設けられた第2のデジタルフィルタ手段の出力を加算して出力する第2の加算手段とを備えて音響再生装置を構成することとした。そして、上記第1の加算手段及び第2の加算手段の出力信号を、それぞれスピーカにより音声出力するように構成する、あるいは上記クロストーク成分についてキャンセルを行うように求められた伝達関数を無効とするように上記第1のデジタルフィルタ及び上記第2のデジタルフィルタ手段のフィルタ係数を設定すると共に、第1の加算手段及び第2の加算手段の出力信号をヘッドフォンにより音声出力するように構成することとした。

【0009】上記構成によれば、音響再生装置として1つの仮想音像を定位させるために必要とされるデジタルフィルタ数は2つとされることになる。また、デジタルフィルタの特性として、例えば係数の変更設定により、クロストーク成分についてキャンセルを行うように求められた伝達関数を無効とする特性となるようにすることで、クロストーク成分を考慮する必要のないヘッドフォンによるシステムにも、共通のデジタルフィルタを備えた音響再生装置の構成により対応することが可能となる。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、図1～図14を参照して本発明の音響再生装置の実施の形態について説明する。な

お、以降の説明は次の順序で行うこととする。

1. FIRフィルタの構成
2. 本発明に至る経緯
3. 本実施の形態の音響再生装置

【0011】 1. FIRフィルタの構成

本実施の形態の音響再生装置を構成するには、デジタルフィルタとして例えば、そのインパルス応答が有限時間長で表されるFIR (Finite Impulse Response) フィルタが用いられることから、先ずFIRフィルタの構成について説明する。

【0012】 図14は、FIRフィルタ (直接型構成) の構成を示すブロック図であり、この場合にはn次のFIRフィルタとしての一般的な構成が示されている。この図に示すようにFIRフィルタは、遅延時間Tを有する直列接続されたn個の遅延素子D(1)～D(n)と、入力信号x(nT)及び各遅延素子D(1)～D(n)の遅延出力について乗算を行う、n+1個の乗算器M(0)～M(n)、及び図に示す接続形態により、現在の入力信号に対する乗算結果と過去の入力信号に対する乗算結果とを加算出力するn個の加算器AD(1)～AD(n)により構成される。この場合、加算器AD(n)の出力がFIRフィルタの出力信号y(nT)となる。また、上記遅延素子D(1)～D(n)の遅延時間Tはサンプリング周期に対応し、乗算器M(0)～M(n)のフィルタ係数はそれぞれh(0)～h(N-1)として示されている。そして、このようなFIRフィルタの入出力の関係は、

【数1】

$$y(nT) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) \cdot x(nT-kT)$$

で表される。本実施の形態では、後述するようにして音響再生装置を形成するFIRフィルタとして、それぞれ所要の周波数特性 (フィルタ特性) が得られるように乗算器のフィルタ係数h(0)～h(N-1)を設定することで、三次元的音響空間を再生可能な音響再生装置が構成されることになる。

【0013】 2. 本発明に至る経緯

次に、本実施の形態について説明を行う前提として本発明に至った経緯について、図8～図13を参照して説明する。

【0014】 前述した、受聴者の左右の耳に到達する音声、本来のスピーカへの入力信号と同等の特性となるように音響信号について処理を施すクロストークキャンセルフィルタとして、図8に示す構成のものが知られている。なお、実際にはこのようなシステムでは、左右のチャンネルのスピーカSP(L)(R)に固有の伝達特性をフラットにするためのフィルタリングを行うことが必要であるが、この場合には便宜上、スピーカSP

(L)(R)の伝達特性はそれぞれ1であるものと想定して説明を行うこととする。

【0015】 ここでは、音響信号が音声出力される右スピーカSP(R)から、受聴者LSの右耳に到達する音声経路の伝達特性 (伝達関数) をH_{RR}とし、クロストーク成分として右スピーカSP(R)から受聴者LSの左耳に到達する音声経路の伝達特性 (伝達関数) をH_{RL}としている。また、左スピーカSP(L)から、受聴者LSの左耳に到達する音声経路の伝達特性をH_{LL}とし、クロストーク成分として左スピーカSP(L)から受聴者LSの右耳に到達する音声経路の伝達特性をH_{LR}として

【0016】 この図に示すクロストークキャンセルフィルタの構成としては、右チャンネルの音響信号S_Rは加算器AD_R及びFIRフィルタ2_Rに入力される。FIRフィルタ2_Rの特性はC_Rで表され、

【数2】

$$C_R = -H_{RL}/H_{RR}$$

により求められる。FIRフィルタ2_Rの出力は加算器AD_Lに入力される。また、左チャンネルの音響信号S_Lは、加算器AD_L及びFIRフィルタ2_Lに入力される。FIRフィルタ2_Lの特性はC_Lで表され、

【数3】

$$C_L = -H_{LR}/H_{LL}$$

により求められる。FIRフィルタ2_Rの出力は加算器AD_Rに入力される。

【0017】 加算器AD_Rでは、入力された右チャンネルの音響信号S_RとFIRフィルタ2_L (特性C_L) を介した左チャンネルの音響信号S_Lを加算して出力し、FIRフィルタ3_Rに出力する。FIRフィルタ3_Rは、

【数4】

$$\frac{1}{(1 - C_L \cdot C_R) H_{RR}}$$

の特性を有しており、その出力は右スピーカSP(R)に供給される。一方、加算器AD_Lでは左チャンネルの音響信号S_LとFIRフィルタ2_R (特性C_R) を介した右チャンネルの音響信号S_Rを加算して出力し、FIRフィルタ3_Lに出力する。FIRフィルタ3_Lは、

【数5】

$$\frac{1}{(1 - C_L \cdot C_R) H_{LL}}$$

の特性を有するものとされて、その出力は左スピーカSP(L)に供給される。なお、実際には左スピーカSP(L)及び右スピーカ(R)から音響信号を音声として出力するための増幅器が、FIRフィルタ3_L及びFIRフィルタ3_Rの後段に設けられるが、ここではその図示は省略している。

【0018】 このような構成のクロストークキャンセルフィルタに音響信号S_R、S_Lを入力してスピーカSP(R)(L)より出力することにより、受聴者LSの耳

10

20

30

40

50

に到達するクロストーク成分はキャンセルされ、受聴者LSの左右の耳にはそれぞれ音響信号 S_L 、 S_R と同等の音声聞こえることになる。そして、音響信号 S_R 、 S_L が三次元的音像定位を再現するためのものであれば、ヘッドフォンでバイノーラル方式に基づいて再生される音声と同様の信号が得られることになり、受聴者LSは、2つのスピーカSP(R)(L)によっても三次元的音像定位により再現された音声聞くことが可能となる。

【0019】ここで、上記図8に示したクロストークキャンセルフィルタの左右チャンネルの系が対称であると仮定した場合には、図8のクロストークキャンセルフィルタは、図9のブロック図に示すクロストークキャンセルフィルタの構成と等価であると見做すことが可能となる。つまり、以降述べるように、図8のFIRフィルタ 2_R 、 2_L の特性は図9のFIRフィルタFIRフィルタ 4_R 、 4_L の特性に置き換え、図8のFIRフィルタ 3_R 、 3_L の特性は図9のFIRフィルタFIRフィルタ 5_R 、 5_L の特性に置き換えることができる。なお、各回路ブロックの接続形態は図8と図9では同様であることから説明を省略する

【0020】図9においては、スピーカSP(R)から聴取者LSの右耳に到達する音声経路の伝達特性と、スピーカSP(L)から聴取者LSの左耳に到達する音声経路の伝達特性を共にSとし、一方、クロストーク成分として、スピーカSP(R)から聴取者LSの左耳に到達する音声経路の伝達特性と、スピーカSP(L)から聴取者LSの右耳に到達する音声経路の伝達特性を、共にAとしている。つまり、図8に示した伝達特性 H_{RR} 及び H_{LL} については、 $H_{RR}=H_{LL}=S$ とされ、クロストーク成分の伝達特性 H_{RL} 及び H_{LR} については、 $H_{RL}=H_{LR}=A$ とされる。これによると、図8に示したFIRフィルタ 2_R 、 2_L の特性は、共に

【数6】

$$C = -A/S$$

として表すことができ、この伝達特性Cが、図9に示すFIRフィルタ 4_R 、 4_L のフィルタ特性となる。また、図9のクロストークキャンセルフィルタにおいては、クロストークキャンセルフィルタの左右のチャンネルの系が対称であれば、図8に示したFIRフィルタ 3_R 、 3_L の特性を表す数式の項 C_L 及び項 C_R について、 $C_L = C_R = C$ で表されることから、これに基づいて、図9に示すFIRフィルタ 5_R 、 5_L のフィルタ特性は、共に

【数7】

$$\frac{1}{(1-C^2)}S$$

で表されることになる。

【0021】なお、以降の音響再生装置としては、便宜上この図9に示した系に基づいて構成されているものと

して説明を行うこととする。

【0022】そして、上記図9に示した構成のクロストークキャンセルフィルタを用いて、2つのスピーカにより三次元的音場を再現しようとした場合には、例えば図10に示すようなFIRフィルタを備えた音響再生装置を構築することにより再生を行うことができる。この図には、n個の仮想音像の音響信号 S_1 、 $S_2 \sim S_n$ を入力し、これらの入力信号について三次元的に音像定位を設定する構成が示されている。この場合、図11に示すように、音響信号 S_1 、 $S_2 \sim S_n$ に対応する仮想音像をそれぞれVS(1)、VS(2)～VS(n)として、仮想音像VS(1)、VS(2)～VS(n)がそれぞれ定位するとされる位置から、聴取者LSの右耳に至る音声成分の経路の伝達特性(伝達関数)をそれぞれ H_{1R} 、 H_{2R} 、 H_{nR} とし、聴取者LSの左耳に至る音声成分の経路の伝達特性(伝達関数)をそれぞれ H_{1L} 、 H_{2L} 、 H_{nL} とする。

【0023】図10に示す音響再生装置には、入力信号として仮想音像VS(1)、VS(2)～VS(n)にそれぞれ対応する音響信号 S_1 、 $S_2 \sim S_n$ が示されている。音響信号 S_1 はFIRフィルタ $6_R(1)$ 、 $6_L(1)$ に入力され、音響信号 S_2 はFIRフィルタ $6_R(2)$ 、 $6_L(2)$ に入力され、音響信号 S_n はFIRフィルタ $6_R(n)$ 、 $6_L(n)$ に入力されている。これらFIRフィルタ $6_R(1 \sim n)$ 、 $6_L(1 \sim n)$ は、それぞれ入力された音響信号が対応する仮想音像の定位に適合する伝達関数(図11参照)をフィルタ特性として有しているものとされる。つまり、FIRフィルタ $6_R(1 \sim n)$ 、 $6_L(1 \sim n)$ により、音響信号 S_1 、 $S_2 \sim S_n$ に対して仮想音像VS(1)、VS(2)～VS(n)としての定位を有して聞こえる(クロストークがないとされる条件下において)ような特性が与えられることになる。そして、右チャンネルの系に対応するFIRフィルタ $6_R(1 \sim n)$ の出力は加算器AD $_{1R}$ に入力されて加算され、左チャンネルの系に対応するFIRフィルタ $6_L(1 \sim n)$ の出力は加算器AD $_{1L}$ に入力されて加算される。加算器AD $_{1R}$ 及び加算器AD $_{1L}$ の出力は、クロストークキャンセルフィルタ部11に入力される。

【0024】この図に示すクロストークキャンセルフィルタ部11は、先に図9に示したクロストークキャンセルフィルタの系を整理して変形することによって構築されており、この結果、以下に示すフィルタ特性及び接続形態の構成を採っている。このクロストークキャンセルフィルタ部11は、4つのFIRフィルタ 7_R 、 7_L 、 8_R 、 8_L を備えて構成されており、FIRフィルタ 7_R 及び 8_L は

【数7】で示される特性を有し、FIRフィルタ 7_L 及び 8_R は、

【数8】

$$\frac{9}{C} \\ (1-C^2)S$$

で示される特性を有している。

【0025】FIRフィルタ 7_R とFIRフィルタ 7_L には、加算器 AD_{1R} の出力が分岐して入力され、FIRフィルタ 8_R とFIRフィルタ 8_L には加算器 AD_{1L} の出力が分岐して入力されている。そして、FIRフィルタ 7_R 及びFIRフィルタ 8_R の出力が右チャンネルの系の加算器 AD_{2R} に入力され、FIRフィルタ 7_L 及びFIRフィルタ 8_L の出力が左チャンネルの系の加算器 AD_{2L} に入力される。加算器 AD_{2R} の出力は右スピーカSP(R)に供給され、加算器 AD_{2L} の出力は左スピーカSP(L)に供給されて、それぞれ左チャンネル及び右チャンネルの音声として出力される。

【0026】このような構成によると、FIRフィルタ 6_R ($1 \sim n$)、 6_L ($1 \sim n$)により仮想音像VS(1)～VS(n)としての音像定位の伝達特性を与えられた音響信号 $S_1 \sim S_n$ は、クロストークキャンセルフィルタ部11によって、左右の耳に到達するクロストークの音声成分がキャンセルされた特性を有して右スピーカSP(R)及び左スピーカSP(L)から音声として出力される。これにより、聴取者LSには、図11に示した伝達関数に基づく特性を有する音響信号 $S_1 \sim S_n$ (クロストークキャンセルフィルタ部11に入力される前段階の信号と同等の音声)が聞こえることになり、三次元的音場の再生を実現することができる。

【0027】これまでの説明は、2つのスピーカにより仮想音像を再生して三次元的音場を再現する場合について説明したが、ヘッドフォンを用いて三次元的再生音場を得る場合には、例えば図12に示す音響再生装置の構成により実現することができる。なお、この場合には、図13に示すように、左右の各チャンネルに対応する音響信号 S_L 、 S_R の仮想音像VS(L)、VS(R)の聴取者LSの右耳に至るとされる音声成分の経路の伝達特性をそれぞれ H_{RR} 、 H_{LR} とし、聴取者LSの左耳に至るとされる音声成分の経路の伝達特性をそれぞれ H_{RL} 、 H_{LL} とする。

【0028】この場合には、ヘッドフォンHP(R)、(L)により聴取者LSの両耳に対してクロストークして到達する間接音が無いとされる状況で音声出力されるため、クロストーク成分については考慮する必要がない。このため、例えば図10に示した音響再生装置からクロストークキャンセルフィルタ部11の構成を省略して得られる、FIRフィルタ 6_R ($1 \sim n$)及びFIRフィルタ 6_L ($1 \sim n$)側からなる系を応用するのみで、三次元的音場を再生することができる。

【0029】つまり、図12に示すように右チャンネルの音響信号 S_R を入力するFIRフィルタ 9_R 、FIRフィルタ 9_L を設け、左チャンネルの音響信号 S_L を入

力するFIRフィルタ 10_R 、FIRフィルタ 10_L を設ける。これらFIRフィルタ 9_R 、 9_L 、 10_R 、 10_L には、図13にて説明した伝達関数 H_{RR} 、 H_{RL} 、 H_{LR} 、 H_{LL} の特性となるように係数設定を行うことになる。そして、FIRフィルタ 9_R 、 10_R の出力を加算器 AD_R により加算し、この出力を右チャンネルのヘッドフォンHP(R)に供給し、FIRフィルタ 9_L 、 10_L の出力を加算器 AD_L により加算し、その出力を左チャンネルのヘッドフォンHP(L)に供給することによって、聴取者LSには、図13に示す伝達特性に基づいた三次元的音像による音声聞こえていることになる。

【0030】これまで説明してきた、三次元的音場を再現するための音響再生装置の構成を考えた場合、例えば図10に示す構成の音響再生装置で、スピーカにより三次元的音場を再現しようとした場合には、三次元的に定位させるべき仮想音像の数(入力される音響信号の数)を n とすると、 $2n$ 個のFIRフィルタ(6_R ($1 \sim n$)及、 6_L ($1 \sim n$)の系)と、クロストークキャンセルフィルタ部11を形成する4つのFIRフィルタ(7_R 、 7_L 、 8_R 、 8_L)のFIRフィルタが必要となる。つまり、全部で $2n+4$ 個のFIRフィルタが必要とされることになる。例えば、このようなFIRフィルタをデジタル信号処理用ICなどのハードウェアにより構成した場合には、比較的高価で回路規模も大きくなることから、音響再生装置に備えるべきFIRフィルタの数はできるだけ削減されることが、コストや装置の小型軽量化、及び省電力化等の観点からは好ましいことになる。

【0031】また、これまで説明してきた音響再生装置によると、スピーカによる場合とヘッドフォンによる場合とでは、図9と図12を比較して分かるようにFIRフィルタによる構成がハードウェア的に異なっている。このため、スピーカ対応とヘッドフォン対応とは共通の構成を利用することが困難であり、それぞれ異なる構成の音響再生システムとする必要があり、例えばこの点でもコスト的に不利となっていた。

【0032】3. 本実施の形態の音響再生装置

これまで述べてきたような経緯を背景として、本実施の形態は三次元的音場を再現する音響再生装置を構成するFIRフィルタの数を従来よりも削減すると共に、スピーカ対応とヘッドフォン対応とで共通のハードウェアの構成を利用することが可能ように構成されるものである。以下、図1～図7を参照して本発明の実施の形態としての音響再生装置について説明する。

【0033】図1には、本実施の形態の音響再生装置として、1つの仮想音像を定位させる場合の構成について示している。即ち、本実施の形態としての音響再生装置の基本構成となるものである。この場合には、図2に示すように仮想音像VS(1)の音として、受聴者LSの

右耳に到達する経路の伝達特性を H_{1R} とし、左耳に到達する経路の伝達特性を H_{1L} としている。

【0034】ここで、図10にて説明した構成の音響再生装置により、図2に示す仮想音像VS(1)のみを定*

$$R = S_1 \cdot H_{1R} \frac{1}{(1-C^2)S} + S_1 \cdot H_{1L} \frac{C}{(1-C^2)S}$$

$$L = S_1 \cdot H_{1R} \frac{C}{(1-C^2)S} + S_1 \cdot H_{1L} \frac{1}{(1-C^2)S}$$

により表すことができる。そして、これらの式は ※ ※【数10】

$$R = S_1 \left[H_{1R} \frac{1}{(1-C^2)S} + H_{1L} \frac{C}{(1-C^2)S} \right]$$

$$L = S_1 \left[H_{1R} \frac{C}{(1-C^2)S} + H_{1L} \frac{1}{(1-C^2)S} \right]$$

と変形することができる。

【0035】これに基づいて本実施の形態の音響再生装置としては、図1に示すようにして構成することができることになる。つまり、この場合には左右の系で一对のFIRフィルタ 1_R 、 1_L を設け、FIRフィルタ 1_R としては、上記(数10)に基づいて、

【数11】

$$H_{1R} \frac{1}{(1-C^2)S} + H_{1L} \frac{C}{(1-C^2)S}$$

で示される特性が得られるように構成し、FIRフィルタ 1_L としては同様に上記(数10)に基づいて、

【数12】

$$H_{1R} \frac{C}{(1-C^2)S} + H_{1L} \frac{1}{(1-C^2)S}$$

で示される特性が得られるように構成する。このようなFIRフィルタ 1_R 、 1_L の特性は、これまでの説明から理解されるように、仮想音像が聴取者の左耳/右耳に到達するとされる経路の伝達特性を示す伝達関数に対して、聴取者の耳に到達するクロストーク成分をキャンセルするための特性を畳み込み演算することにより得られるものとみることができる。つまり、図10に示したFIRフィルタ 6_R (1)及び 6_L (1)と、クロストークキャンセルフィルタ 11 を形成するFIRフィルタ 7_R 、 7_L 、 8_R 、 8_L を備えて構成される音響信号 S_1 に対応する系と等価となる構成を、2つのFIRフィルタ 1_R 、 1_L により形成したものである。

【0036】そして、仮想音像VS(1)となる音響信号 S_1 をFIRフィルタ 1_R 、 1_L に分岐して入力し、FIRフィルタ 1_R の出力は右スピーカSP(R)に入力し、FIRフィルタ 1_L の出力は左スピーカSP

(L)に入力する。これにより、スピーカSP(R) 50

*位させる場合について考えてみると、その系の式は、仮想音像VS(1)となる音響信号を S_1 とし、スピーカSP(R)、(L)の各出力をL、Rとして

【数9】

(L)から聴取者に聞こえる音声としては、左右の系を交錯するクロストーク成分はキャンセルされて、図2に示した伝達特性 H_{1R} 、 H_{1L} が畳み込まれた音響信号 S_1 と同等とされることになる。従って、聴取者にとっては、図2に示した伝達特性 H_{1R} 、 H_{1L} に基づいて決定される定位により仮想音像VS(1)が聞こえることになる。このように本実施の形態の音響再生装置としては、1つの仮想音像を定位させるのにつき2つのFIRフィルタを用いることになる。

【0037】次に、上記図1に示した本実施の形態の音響再生装置の基本構成に基づいて、2つの仮想音像を定位させるための音響再生装置の構成を図3に示す。ここでは、図4に示すように2つの仮想音像VS(1)

(2)のうち、仮想音像VS(1)が聴取者LSの右耳と左耳にそれぞれ到達する伝達特性を H_{1R} 、 H_{1L} とし、仮想音像VS(2)が聴取者LSの右耳と左耳のそれぞれに到達する伝達特性を H_{2R} 、 H_{2L} とする。

【0038】ここで、図1に示したFIRフィルタ 1_R 、 1_L の特性を導き出した場合と同様に、図10に示した構成の音響再生装置により、図4に示す2つの仮想音像VS(1)(2)を定位させる場合について考えてみると、その系の式は、仮想音像VS(1)(2)となる音響信号をそれぞれ S_1 、 S_2 とし、スピーカSP(R)、(L)の各出力をL、Rとして、

【数13】

13

$$R = (S_1 \cdot H_{1R} + S_2 \cdot H_{2R}) \frac{1}{(1-C^2)S} \\ + (S_1 \cdot H_{1L} + S_2 \cdot H_{2L}) \frac{C}{(1-C^2)S}$$

$$L = (S_1 \cdot H_{1R} + S_2 \cdot H_{2R}) \frac{C}{(1-C^2)S}$$

$$+ (S_1 \cdot H_{1L} + S_2 \cdot H_{2L}) \frac{1}{(1-C^2)S} \quad 10$$

$$R = S_1 \left[H_{1R} \frac{1}{(1-C^2)S} + H_{1L} \frac{C}{(1-C^2)S} \right] \\ + S_2 \left[H_{2R} \frac{1}{(1-C^2)S} + H_{2L} \frac{C}{(1-C^2)S} \right] \\ L = S_1 \left[H_{1L} \frac{1}{(1-C^2)S} + H_{1R} \frac{C}{(1-C^2)S} \right] \\ + S_2 \left[H_{2L} \frac{1}{(1-C^2)S} + H_{2R} \frac{C}{(1-C^2)S} \right]$$

と変形することができる。

【0039】これに基づいて、本実施の形態による2つの仮想音像を定位させる音響再生装置としては、図3に示すようにして構成することが可能となる。この場合には仮想音像VS(1)となる音響信号S₁に対応したFIRフィルタ1_R(1)、1_L(1)、及び仮想音像VS(2)となる音響信号S₂に対応したFIRフィルタ1_R(2)、1_L(2)が設けられる。そして、FIRフィルタ1_R(1)、1_L(1)の特性としては、上記(数14)に基づいた場合も、先に(数11)及び(数12)に示したものと同様となる。また、FIRフィルタ1_R(2)、1_L(2)の特性としては、(数14)に基づいて、FIRフィルタ1_R(2)は、

【数15】

$$H_{2R} \frac{1}{(1-C^2)S} + H_{2L} \frac{C}{(1-C^2)S}$$

で示され、FIRフィルタ1_L(2)は、

【数16】

$$H_{2R} \frac{C}{(1-C^2)S} + H_{2L} \frac{1}{(1-C^2)S}$$

で示される特性が得られるようフィルタ係数が設定される。

14

*により表すことができる。そして、この式は
【数14】

【0040】そして、FIRフィルタ1_R(1)、1_L(1)には音響信号S₁を入力し、FIRフィルタ1_R(2)、1_L(2)には音響信号S₂を入力するようにし、FIRフィルタ1_R(1)及びFIRフィルタ1_R(2)の出力は加算器AD_Rに入力して加算を行い、その出力を右スピーカSP(R)に供給する。また、FIRフィルタ1_L(1)及びFIRフィルタ1_L(2)の出力は加算器AD_Lに入力して加算を行い、左スピーカSP(L)に供給するようにして、音響再生装置を構成する。

【0041】このような構成の音響再生装置は、図10におけるFIRフィルタ6_R(1)、6_L(1)及び6_R(2)、6_L(2)よりなる音響信号S₁及びS₂について定位を与えるための伝達特性を畳み込む系と、クロストークキャンセルフィルタ11を形成するFIRフィルタ7_R、7_L、8_R、8_Lを備えて構成される回路部分と等価となる構成を、4つのFIRフィルタ1_R(1)、1_L(1)、1_R(2)、1_L(2)を備えることにより形成したものとみることができる。

【0042】これにより、スピーカSP(R)(L)から聴取者に聞こえる音声としては、左右の系のクロストーク成分はキャンセルされて、図4に示した伝達特性に基づいて決定される定位により仮想音像VS(1)、VS(2)が聞こえることになる。

【0043】そして、これまで説明して来た図1及び図3の音響再生装置に基づいた場合、 n 個の仮想音像について定位を設定することのできる、本実施の形態の音響再生装置としての一般的な構成としては、図5に示すようなものとなる。ここでは、図6に示すように、 n 個の仮想音像 $VS(1)(2) \sim (n)$ のうち、仮想音像 $VS(1)$ が聴取者 LS の右耳と左耳にそれぞれ到達する伝達特性を H_{1R} 、 H_{1L} とし、仮想音像 $VS(2)$ の伝達特性を H_{2R} 、 H_{2L} とし、以降、 n 個目の仮想音像 $VS(n)$ の伝達特性を H_{nR} 、 H_{nL} としている。

【0044】この場合には、図5に示すように仮想音像 $VS(1)(2) \sim (n)$ となる音響信号 $S_1, S_2 \sim S_n$ ごとに対応するようにして、それぞれ一对の[FIRフィルタ $1_R(1), 1_L(1)$]、[FIRフィルタ $1_R(2), 1_L(2)$]～[FIRフィルタ $1_R(n), 1_L(n)$]が設けられる。ここで、[FIRフィルタ $1_R(1), 1_L(1)$]の各特性は、先に示した(数11)及び(数12)によりそれぞれ表される。また、[FIRフィルタ $1_R(2), 1_L(2)$]の特性も先に示した(数15)及び(数16)によってそれぞれ表される。そして、[FIRフィルタ $1_R(n), 1_L(n)$]の特性として、FIRフィルタ $1_R(n)$ は

【数17】

$$H_{nR} \frac{1}{(1-C^2)S} + H_{nL} \frac{C}{(1-C^2)S}$$

で表され、FIRフィルタ $1_L(n)$ は

【数18】

$$H_{nR} \frac{C}{(1-C^2)S} + H_{nL} \frac{1}{(1-C^2)S}$$

により表されることになる。

【0045】音響信号 S_1 はFIRフィルタ 1_R

$(1), 1_L(1)$ に入力され、音響信号 S_2 はFIRフィルタ $1_R(2), 1_L(2)$ に入力される。音響信号 S_n はFIRフィルタ $1_R(n), 1_L(n)$ に入力されることになる。そして、右スピーカ $SP(R)$ には、FIRフィルタ $1_R(1), 1_R(2) \sim 1_R$

(n) の出力を加算器 AD_R により加算した出力が供給される。一方、左スピーカ $SP(L)$ には、FIRフィルタ $1_L(1), 1_L(2) \sim 1_L(n)$ の出力を加算器 AD_L により加算した出力が供給される。このようにして、 n 個の仮想音像を定位させるための本実施の形態の音響再生装置が構成される。そして、この音響再生装置により音響信号 $S_1 \sim S_n$ を再生することにより、スピーカ $SP(R)(L)$ から聴取者に聞こえる音声としては、左右の系のクロストーク成分がキャンセルされたうえで、図6に示した伝達特性に基づいて決定される定位により仮想音像 $VS(1), VS(2) \sim VS(n)$

が聞こえるものである。

【0046】例えば、図10に示した構成の音響再生装置では、 n 個の仮想音像を定位させるために、前述のように $2 \times n + 4$ 個のFIRフィルタが必要となる。これに対して本実施の形態の音響再生装置では、図1、図3及び図4にて説明した構成から理解されるように、 n 個の仮想音像を定位させるためには、 $2n$ 個のFIRフィルタで済むことになる。具体的に、例えば実際の使用形態としては2つ程度の仮想音像を定位させる音響再生装置が必要となる場合が最も多いと考えられるが、図10に示した構成の音響再生装置で2個の仮想音像を定位させるには $2 \times 2 + 4 = 8$ 個のFIRフィルタが必要となる。これに対して、本実施の形態の音響再生装置で2個の仮想音像を定位させるためには、図3に示したように $2 \times 2 = 4$ 個のFIRフィルタを必要とすればよい。

【0047】また、本実施の形態として図3に示した音響再生装置の系の構成は、先に図12に示したヘッドフォンを使用した場合の音響再生装置の系と同等であると見ることができる。つまり、図3に示したFIRフィルタ $1_R(1), 1_L(1), 1_R(2), 1_L(2)$ の特性として、

【数19】

$$\frac{1}{(1-C^2)S} = 1, \quad \frac{C}{(1-C^2)S} = 0$$

となるように、上記FIRフィルタ $1_R(1), 1_L(1), 1_R(2), 1_L(2)$ のフィルタ係数を設定することにより、FIRフィルタ $1_R(1), 1_L(1), 1_R(2), 1_L(2)$ は、それぞれ図12に示すFIRフィルタ $9_R, 9_L, 10_R, 10_L$ の特性と一致することになる。従って、本実施の形態では図3に示した音響再生装置の系と共通の構成により、ヘッドフォンを使用した場合に対応する音響再生装置を構成することが可能になる。なお、これまで実施の形態として説明して来た音響再生装置によりスピーカあるいはヘッドフォンを利用して再生を行う場合には、実際に用いられるスピーカ又はヘッドフォンに固有の伝達特性をフラットにするための逆フィルタをかけるためのフィルタを設けることができる。こうすることにより、より忠実に三次元の音場を再現することが可能となる。

【0048】図7は、本実施の形態の音響再生装置をドルビーサラウンドシステムに適用する場合の構成が概念的に示されている。ドルビーサラウンドシステムは、例えば左スピーカ $SP(L)$ の位置の定位により再生される $Left$ チャンネル、仮想音像 $VS(C)$ の位置の定位により再生される $Center$ チャンネル、右スピーカ $SP(R)$ の位置の定位により再生される $Right$ チャンネルの各音声と、後方において仮想音像 $VS(SR)$ の位置の定位により再生される R チャンネル及び仮想音像 $VS(SL)$ の位置の定位により再生される L チャンネルのサラウンド音声の、計5つのチャンネルによ

る音声を映像と共に再生するものであるが、本実施の形態の音響再生装置として5個の仮想音像を定位させるための系を備えたシステムを用いれば、2つのスピーカSP (L) (R) のみによって、上記5チャンネルの音声の定位を再現したサラウンド再生を実現することが可能となる。この場合には、視聴室101内の音響特性に基づいて、所定のリスニングポイントに位置する受聴者LSの耳に到達するとされる上記5チャンネルの音声の伝達特性及びクロストーク成分を計測等により求め、これらの伝達特性及びクロストーク成分の計測結果に基づいて、上記5チャンネルについて適正な音像定位が得られるように、音響再生装置の系を構成するFIRフィルタのフィルタ係数を設定することになる。なお、スクリーン100には映像が映写される。

【0049】また、例えば図5及び図6の構成における、仮想音像VS (1) を例として、この仮想音像VS (1) が受聴者LSの右耳に到達する音声の伝達特性 H_{1R} について、スピーカSP (R) が放射する音声に与えるとされる特性を H_{SP} とし、リスニングルームの音響特性を含んで受聴者LSの右耳に到達するまでの伝達特性を H_{room} との成分に分けて考えると、 $H_{1R} = H_{SP} \cdot H_{room}$ として表すことが可能となる。そして、本実施の形態の音響再生装置では、任意のスピーカの特性 H_{SP} 及びリスニングルームの音響特性を含む伝達特性 H_{room} を設定して、設定された特性 H_{SP} 及び H_{room} に基づいてFIRフィルタのフィルタ係数を設定することで、任意のスピーカが放射する信号の特性により生じるとされる聴感や、任意の音響特性のリスニングルームで受聴した場合に得られる聴感が得られるように、シュミレーション再生を行うことも可能となる。

【0050】

【発明の効果】以上説明したように本発明の音響再生装置は、n個の仮想音像を定位させるのに2n個のFIRフィルタを必要とすることになるため、従来と比べてより少ないFIRフィルタ数により三次元的音場を得るための音響再生装置を得ることが可能となり、特にFIRフィルタをハードウェアにより構成する場合には、大幅なコストの削減、装置の小型／軽量化、及び低消費電力化を図ることができるという効果を有している。また、本発明のFIRフィルタは仮想音像が聴取者に到達するとされる経路の伝達特性に対してクロストークキャンセルのための伝達特性を畳み込んだフィルタ特性を有するようにされていることから、FIRフィルタのフィルタ係数を変更してクロストークキャンセルのための伝達特性は無効とし、仮想音像が聴取者に到達するとされる経路の伝達特性のみが有効となるようにフィルタ特性を変更することが容易に可能であるが、これによって、スピーカ出力の場合のようにクロストークを考慮する必要の

ないヘッドフォンに対応する音響再生装置についても、共通のFIRフィルタを備えたハードウェアを利用することができ、これによっても例えばコストの削減が促進されることになる。また、1つの音響再生システムでスピーカとヘッドフォンの両者に対応可能なものを構成する場合には、装置の小型／軽量化が更に図られることになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の音響再生装置として、1つの仮想音像を定位させるための系の構成を示すブロック図である。

【図2】1つの仮想音像の音声を受聴者に到達するとされる伝達特性を示すための説明図である。

【図3】本実施の形態として、2つの仮想音像を定位させるための系の構成を示すブロック図である。

【図4】2つの仮想音像の音声を受聴者に到達するとされる伝達特性を示すための説明図である。

【図5】本実施の形態として、n個の仮想音像を定位させるための系の構成を示すブロック図である。

【図6】n個の仮想音像の音声を受聴者に到達するとされる伝達特性を示すための説明図である。

【図7】本実施の形態の音響再生装置をドルビーサラウンドシステムに適用した場合の構成を示す説明図である。

【図8】従来のクロストークキャンセルフィルタの構成を示すブロック図である。

【図9】左右の系が対象である場合に図8と等価とされるクロストークキャンセルフィルタの構成を示すブロック図である。

【図10】図9に示すクロストークキャンセルフィルタの構成に基づいて、n個の仮想音像を定位させるための系の構成を示すブロック図である。

【図11】n個の仮想音像の音声を受聴者に到達するとされる伝達特性を示すための説明図である。

【図12】ヘッドフォンの利用に対応する音響再生装置の構成を示すブロック図である。

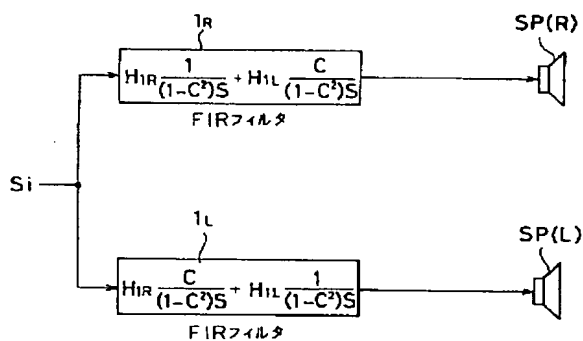
【図13】ヘッドフォンを利用した場合に仮想音像の音声を受聴者に到達するとされる伝達特性を示すための説明図である。

【図14】FIRフィルタの構成を示すブロック図である。

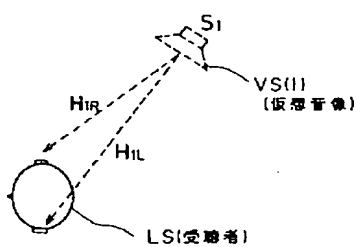
【符号の説明】

$1R$, $1L$, $1R(1)$, $1L(1)$, $1R(2)$, $1L(2)$, $1R(n)$, $1L(n)$ FIRフィルタ、 $VS(1) \sim (n)$ 仮想音像、LS 聴取者、 AD_R , AD_L 加算器、SP (R) 右スピーカ、SP (L) 左スピーカ

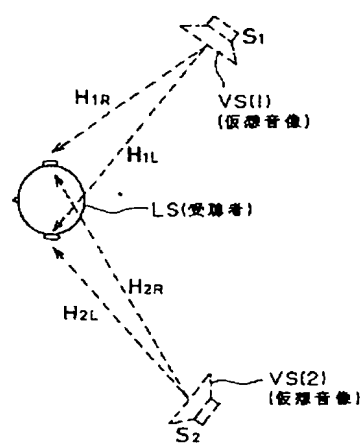
【図1】



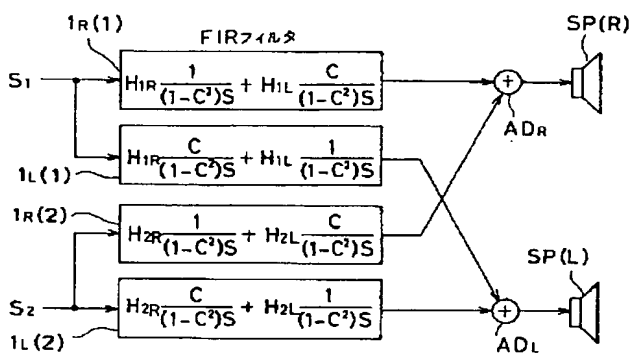
【図2】



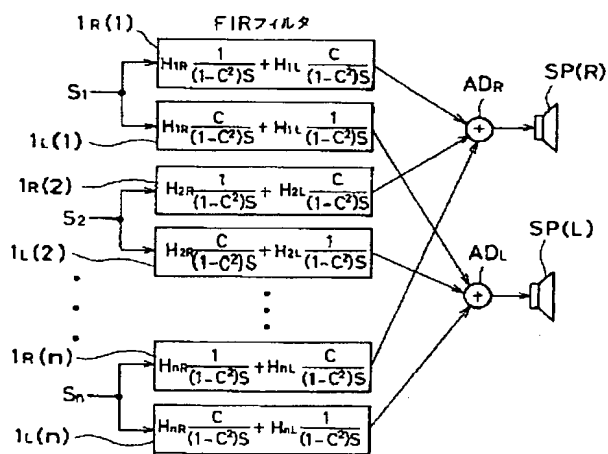
【図4】



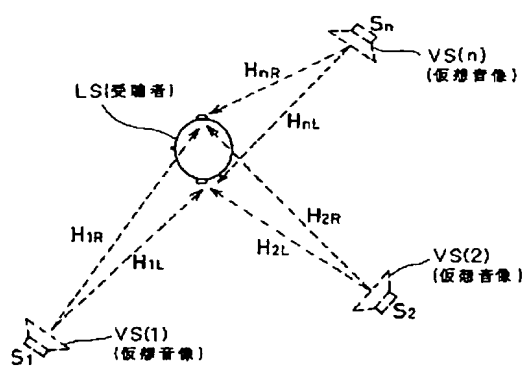
【図3】



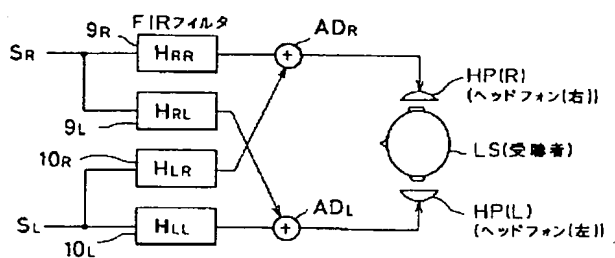
【図5】



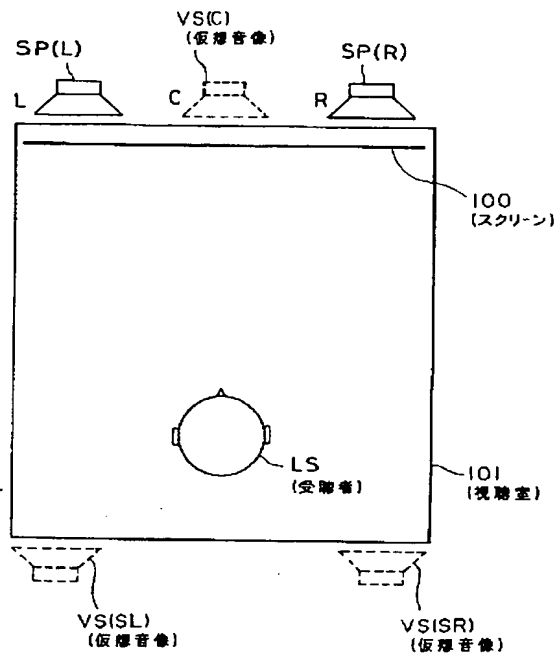
【図6】



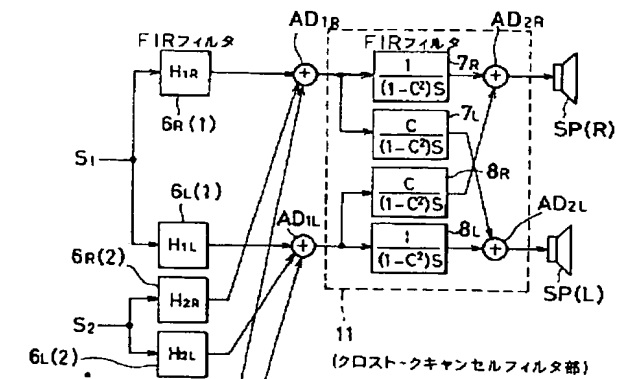
【図12】



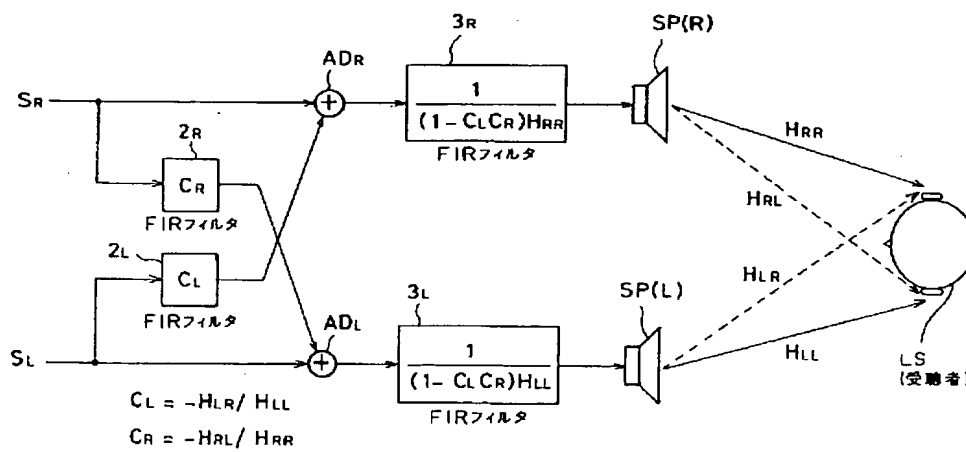
【図7】



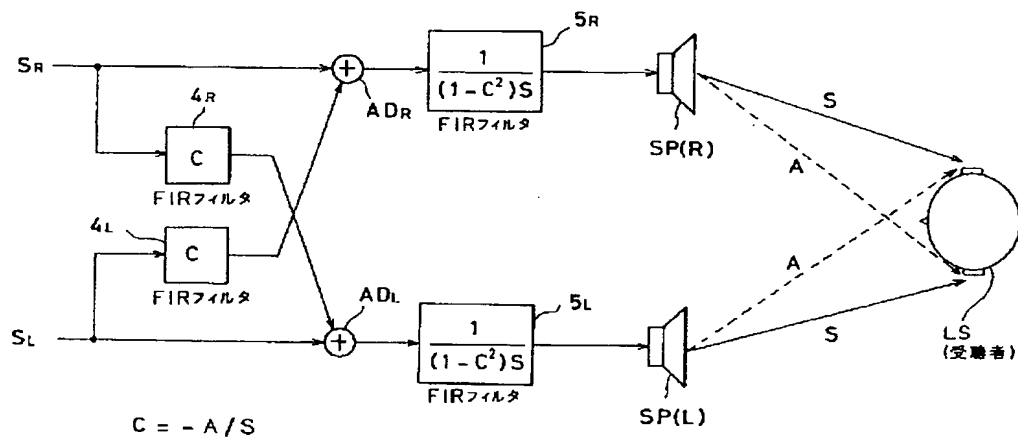
【図10】



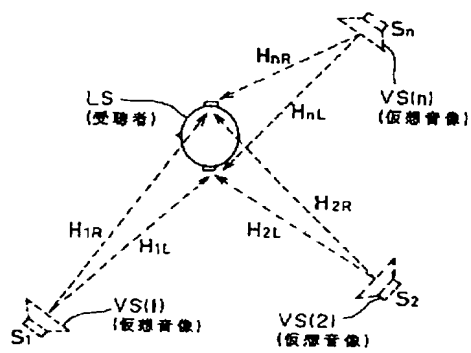
【図8】



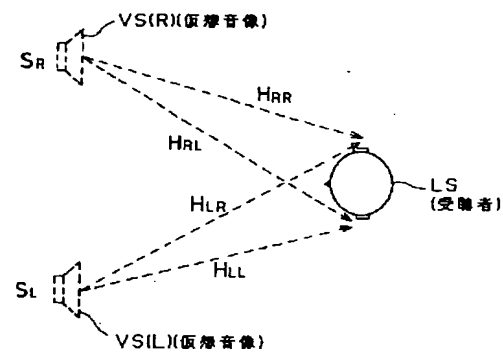
【図9】



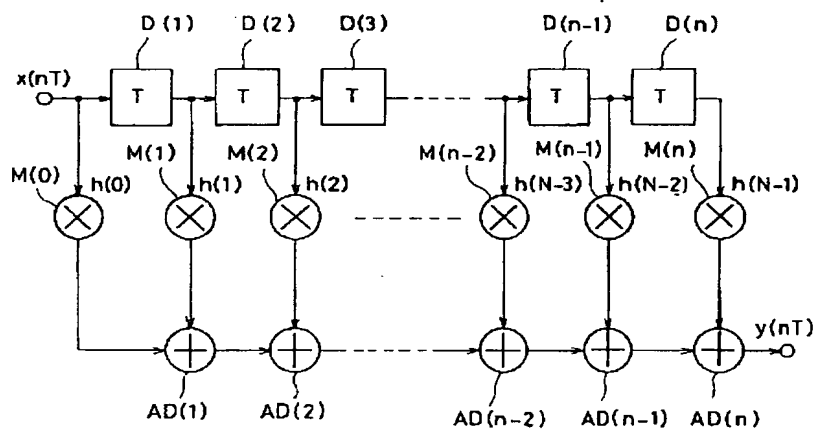
【図11】



【図13】



【図14】



FIRフィルタの構成

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.